

## Medida da Seção de Choque de Absorção do $U_I$ por Espectroscopia Optogalvânica

Marcelo G. Destro<sup>1</sup>, José W. Neri, Carlos Schwab, Nicolau A. S. Rodrigues  
Instituto de Estudos Avançados/CTA - S.J. dos Campos - SP

Armando Mirage  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN - São Paulo - SP

*Uma relação entre a magnitude do sinal optogalvânico (SOG) e o fluxo de fótons de excitação, obtida com base na solução das equações de taxa do sistema de dois níveis, foi verificada experimentalmente. Usou-se um laser de corante pulsado, sintonizado nas transições  $0 \rightarrow 16900 \text{ cm}^{-1}$  e  $0 \rightarrow 16505 \text{ cm}^{-1}$  do urânio neutro ( $U_I$ ), incidente numa descarga de catodo oco de U-Ar, para obter o SOG em função da potência do laser. Os resultados experimentais foram ajustados numericamente à relação teórica obtida. Os valores obtidos para as seções de choque de absorção são comparados com valores obtidos por outras técnicas.*

## 1 Introdução

A seção de choque de absorção de uma transição atômica pode ser determinada experimentalmente por meio de várias técnicas de espectroscopia [1]-[4]. Contudo, estas técnicas, geralmente, envolvem componentes sofisticados de detecção, tais como espectrômetros de alta resolução, fotomultiplicadora, câmaras de evaporação, etc. Nas últimas décadas, a técnica de detecção optogalvânica, muito mais simples, teve seu uso intensificado e várias teorias e modelos matemáticos simplificados [5] - [11] têm sido desenvolvidos, para descreverem de maneira mais apropriada os resultados observados sob certas condições experimentais. Para elementos refratários, tal como o urânio, esta técnica associa a eficiência de evaporação por "sputtering" com um instrumento de detecção muito sensível [9, 13].

Neste trabalho, a relação existente entre a magnitude do sinal optogalvânico (SOG) e o fluxo de fótons de excitação, obtida [11, 12] com base na solução das equações de taxa de um sistema de dois níveis, foi verificada experimentalmente para as transições  $0 \rightarrow 16900,3866 \text{ cm}^{-1}$  ( $5915,3853 \text{ \AA}$ ) e  $0 \rightarrow 16505,7721 \text{ cm}^{-1}$  ( $6056,8092 \text{ \AA}$ ) do urânio.

## 2 Arranjo Experimental

O arranjo experimental usado está mostrado na Figura 2. Este é constituído de uma lâmpada de catodo oco (LCO U-Ar), composta de um catodo de urânio natural e preenchido com 2 torr de Ar como gás tampão, na qual incide-se a radiação de um laser de corante (LC) excitado por um laser de vapor de cobre (LVC). Os pulsos do LC possuem uma potência média em torno de 500 mW, com uma duração de  $\sim 25 \text{ ns}$  a uma taxa de repetição de pulso de 5 kHz. A largura de linha do LC é de 0,7 GHz ( $\simeq 0,01 \text{ \AA}$ ). A varredura do comprimento de onda desse LC é realizada a partir da variação de pressão do recipiente que contém os elementos de sintonia do oscilador [14]. O circuito eletrônico usado para suprir a descarga elétrica da LCO e extrair o SOG desta é constituído

<sup>1</sup>Em colaboração com Departamento de Física - CTA/ITA - São José dos Campos - SP

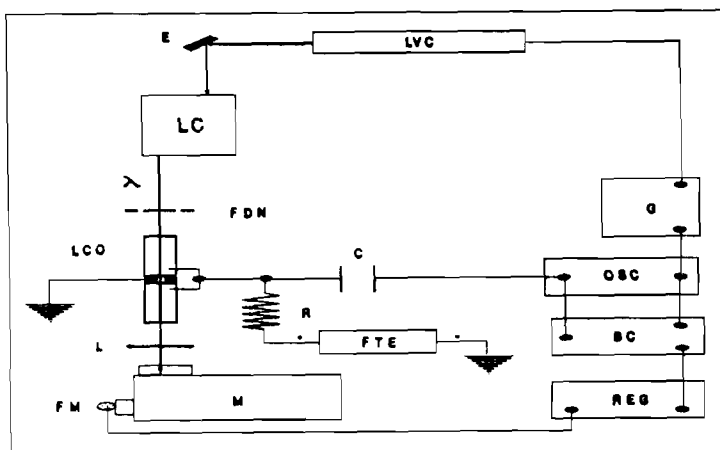


Figura 1: Arranjo experimental para a detecção optogalvânica. BC = “Boxcar Averager”; C = Capacitor; E = Espelho; FDN = Filtro de Densidade Neutra; FM = Fotomultiplicadora; FTE = Fonte de Tensão Estabilizada; G = Gerador de Atraso e Referência; L = Lente; LC = Laser de Corante pulsado; LVC = Laser de Vapor de Cobre; M = Monocromador; OSC = Osciloscópio; R = Resistor de Lastro; REG = Registrador.

basicamente de uma fonte de tensão estabilizada (FTE), um resistor de lastro  $R = 1,8 \text{ k}\Omega$ , 25 W, um capacitor  $C = 0,0015 \text{ }\mu\text{F}$ . O SOG é detectado por um “Boxcar Averager” e analisado por um osciloscópio Tektronix com uma gaveta digitalizadora 7D20. Tanto as leituras do “Boxcar” quanto as do osciloscópio são efetuadas após a chegada de um pulso de disparo de referência nestes dispositivos. Além disso, usou-se um monocromador de meio metro, Spex Industries, Inc. USA, para calibrar o SOG com o espectro de emissão da LCO.

### 3 Resultados

As seções de choque de absorção das transições  ${}^5L_6^0-{}^7M_7$  (5915,3853 Å) e  ${}^5L_6^0-{}^5K_6$  (6056,8092 Å), do urânio, foram determinadas a partir do modelo teórico encontrado na literatura [11, 12], fazendo uso de medidas experimentais do SOG em função da potência do laser incidente sobre a LCO. O SOG em função da potência do LC, para as transições  ${}^5L_6^0-{}^7M_7$  e  ${}^5L_6^0-{}^5K_6$ , foram obtidos usando-se a montagem experimental mostrada na Figura 2. Alterando-se o valor do filtro de densidade neutra obtiveram-se vários valores de potência para o LC. Para cada valor da potência do LC registrou-se o espectro optogalvânico para cada transição e, a partir desses espectros, tomou-se o valor de pico como sendo o valor do SOG. Além disso, mediu-se o diâmetro do feixe dentro da região de descarga da LCO e obtiveram diâmetros efetivo de  $3,0 \pm 0,2 \text{ mm}$  para  $\lambda = 5915 \text{ Å}$  e de  $1,6 \pm 0,1 \text{ mm}$  para  $\lambda = 6056 \text{ Å}$ . Usando o fato que a largura de linha do LC é de 0,7 GHz e a largura de linha Doppler para estas transições é de 0,7 GHz [15], ajustaram-se os resultados obtidos pelo método de mínimos quadrados, a partir da expressão para o

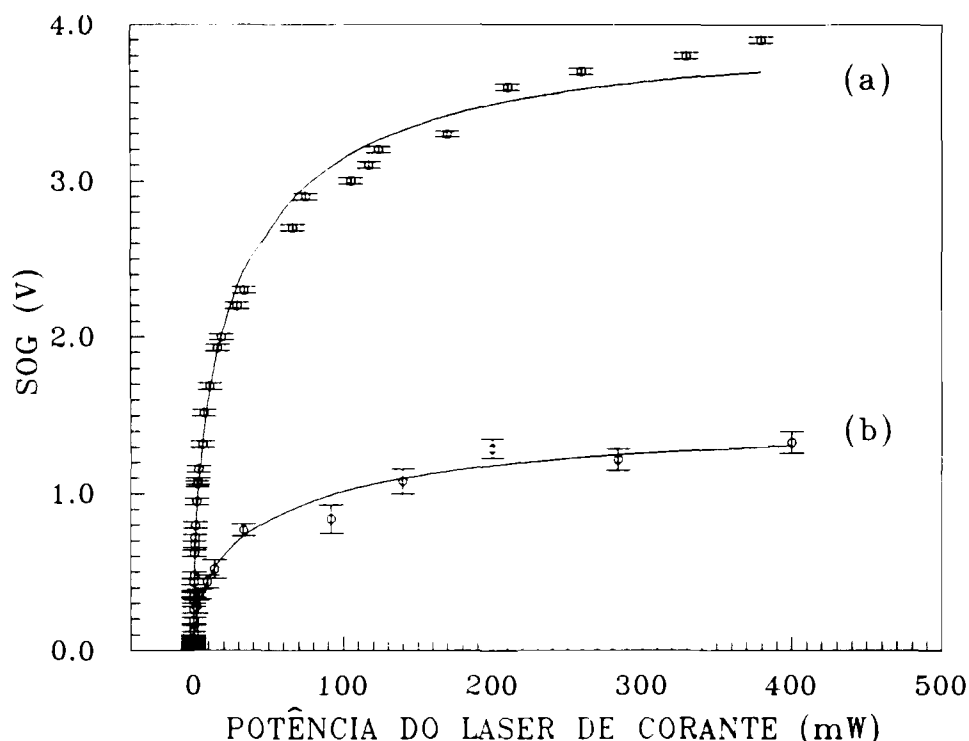


Figura 2: SOG em função da potência do laser de corante: (a) para a transição  ${}^5L_6^0 - {}^7M_7$  e (b) para a transição  ${}^5L_6^0 - {}^5K_6$  do Urânio.  $\ominus$  pontos experimentais; curvas sólidas ajustadas pelo método de mínimos quadrado.

SOG [11, 12]:

$$\Delta V_{SOG} = -\frac{B}{1 + \frac{\Phi_s}{\Phi} \sqrt{2(1 + \Phi/\Phi_s)}} \times \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( 1 + \frac{\Phi}{\Phi_s \sqrt{2(1 + \Phi/\Phi_s)}} \right) \frac{t_p}{\tau_s} \right] \right\} \quad (3.1)$$

onde  $B$  e  $\Phi_s$  são os parâmetros a serem ajustados.  $B$  é um fator de proporcionalidade positivo e  $\Phi_s$  é o fluxo de fótons de saturação do meio, o qual é definido como  $\Phi_s = 1/[(1 + g_1/g_2)\sigma\tau_s]$ , sendo  $g_1$  e  $g_2$  as degenerescências dos níveis inferiores e superiores, respectivamente.  $t_p = 25$  ns é a duração do pulso do LC e  $\tau_s$  é o tempo de vida da transição (255 ns para a transição  ${}^5L_6^0 - {}^7M_7$  e 330 ns para a transição  ${}^5L_6^0 - {}^5K_6$ ) [2].

A Figura 3 mostra o SOG em função da potência do laser de corante para as duas transições estudadas neste trabalho. Os pontos que aparecem nesta figura correspondem aos valores obtidos experimentalmente. As linhas sólidas correspondem às curvas teóricas ajustadas pelo método de mínimos quadrados segundo a Eq. 3.1.

A partir do ajuste de mínimos quadrados segundo a Eq. 3.1 para os pontos experimentais obtidos, para a transição  ${}^5L_6^0 - {}^7M_7$  do urânio ( $g_1 = 13$  e  $g_2 = 15$ ), obteve-se  $B = 3,91 \pm 0,06$  V e  $\Phi_s = (5 \pm 1) \times 10^{19}$  fótons/(s.cm<sup>2</sup>) para a amplitude máxima do SOG e para o fluxo de saturação, respectivamente. Esse fluxo de saturação corresponde

á uma seção de choque de absorção de  $(4,2 \pm 0,8) \times 10^{-14} \text{ cm}^2$ . Este valor é cerca de 10 vezes menor que o valor da seção de choque de absorção desta transição encontrado na literatura ( $5,4 \times 10^{-13} \text{ cm}^2$ ) [3]. Essa discrepância deve-se ao fato de que esta transição é conectada ao nível excitado  $33801 \text{ cm}^{-1}$  por meio de uma excitação ressonante de dois fótons [16]. A energia correspondente à metade da do nível de energia  $33801 \text{ cm}^{-1}$  está muito próxima à do nível  $16900.3866 \text{ cm}^{-1}$ . Portanto, quando aumenta-se a intensidade do laser sintonizado na transição ( $0 \rightarrow 16900.3866 \text{ cm}^{-1}$ ) observa-se a transição de dois fótons até o nível  $33801 \text{ cm}^{-1}$  [16]. Desta maneira, a seção de choque de absorção obtida por este método corresponde, neste caso, à seção de choque de absorção efetiva da transição  $0 \rightarrow 33801 \text{ cm}^{-1}$ . Para a transição  $^5L_6^0 - ^5K_6$  do urânio ( $g_1 = 13$  e  $g_2 = 13$ ), obteve-se a partir do ajuste de mínimos quadrados dos pontos experimentais obtidos,  $B = 1,46 \pm 0,09 \text{ V}$  e  $\Phi_s = (2,2 \pm 0,9) \times 10^{20} \text{ fótons}/(\text{s.cm}^2)$ , sendo que este último corresponde a uma seção de choque de absorção de  $(7 \pm 3) \times 10^{-15} \text{ cm}^2$ . Este valor possui uma boa concordância com os valores  $5,9 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$  [2] e  $7,1 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$  [4] encontrados na literatura, para esta transição.

## 4 Conclusão

Os resultados obtidos a partir de medidas do SOG em função do fluxo de fótons de excitação e do ajuste de mínimos quadrados, segundo o modelo usado neste trabalho, comprovam que o modelo pode ser usado para determinar as seções de choque de absorção de uma transição a partir do estado fundamental. Além disso, comprova a potencialidade deste método, relativamente simples quanto aos componentes necessários, para efetuar as medidas de seções de choque de absorção a partir do estado fundamental.

## Referências

- [1] J.Blaise and L.J.Radziemski, J. Opt. Soc. Am. **66-7**, 644, 1976.
- [2] L.R.Carlson, et al, J. Opt. Soc. Am. **66-8**, 846, 1976.
- [3] H.L. Chen and C. Borzileri, J. Chem. Phys. **74**, 6063, 1981.
- [4] C.H. Corliss and R.W.Bozman, U.S.Ntl.Bur.Stds. Monograph no.53 (U.S. GPO, Washington, D.C., 1962)
- [5] G.Erez, S.Lavi, E.Miron, IEEE J. Quant. Electron. **QE-15**, 1328, 1979.
- [6] A.Ben-Amar, G.Erez and R.Shuker, J. Appl. Phys. **54**, 3688, 1983).
- [7] R.A.Keller, et al, J. Phys. (Paris) **C7-44**, 23, 1983.
- [8] E.F.Zalewski, R.A.Keller and R.Engleman Jr., J. Chem. Phys. **70**, 1015, 1979.
- [9] B.Barbieri, N.Beverini and A.Sasso, Rev. Mod. Phys. **62**, 603, 1990.
- [10] A.Mirage, D.Pereira, F.C. Cruz and A.Scalabrin, Il Nuovo Cimento **14D-6**, 8, 1992.
- [11] A.Mirage, M.G.Destro, C.Schwab e J.W.Neri, Anais do V Simpósio Estadual de Lasers e Aplicações, IPEN-CNEN/SP - LASERS'92.
- [12] A.Mirage, M.G.Destro, C.Schwab, J.W.Neri, N.A.S. Rodrigues, submitted to Applied Optics.
- [13] M.Brogliá, F.Catoni and P.Zampetti, Journal de Physique, Colloque **C7-11**, 251 (1983).
- [14] M.G.Destro e C.C.Ghizoni, Nota Técnica NT/IEAv 020/86.
- [15] F.C.Cruz, D.Pereira, A.Scalabrin, M.G. Destro, C. Schwab, A. Mirage, Anais do V Simpósio Estadual de Lasers e Aplicações, IPEN-CNEN/SP - LASERS'92.
- [16] M.Brogliá, F.Catoni and P.Zampetti, J. Opt. Soc. Am. B **2-4**, 570, 1985.